

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕЗОНАНСНОМ ОТРАЖЕНИИ СУПЕРКРИСТАЛЛОВ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Юревич Ю.В., Тимошенко Е.В.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий  
г. Могилёв, Беларусь

Квантовые точки (КТ), образующие структуру интенсивно исследуемых ныне суперкристаллов (СК), имеют размеры до нескольких нанометров, обладая притом дискретными свойствами энергетического спектра. Учет самосогласованного поля в оптически плотном ансамбле диполей приводит к возникновению нелинейности в отстройке резонанса в уравнениях Блоха для резонансной поляризации среды. Фазовая нелинейная добавка обуславливает качественные изменения в протекании уже известных физических явлений. Среди них следует отметить сверхбыстрое оптическое переключение [1] и возникновение осцилляторных режимов в отражении непрерывного излучения низкоразмерным слоем с высокой концентрацией активных центров [2].

В настоящем сообщении обсуждается модель динамики резонансного отражения, развивающейся в СК в условиях нелинейности частотной отстройки  $\Delta\omega$ . Перенормировка выражения  $\Delta\omega$  соответствует обобщённой двухуровневой схеме оптического отклика дипольных КТ и учёту влияния их ближних полей. Кинетическая модель представляет согласованную с граничными соотношениями для световых полей модификацию оптических уравнений Блоха для нормального падения поля  $E_i$ :

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{d\tau} &= \frac{n}{D} [\kappa\rho + (1 - \beta\kappa\gamma\delta n) e_i \cos \varphi - \beta\kappa\delta n e_i \sin \varphi] - \rho, \\ \frac{d\varphi}{d\tau} &= (\omega - \omega_{12}) \tau_2 + \frac{n}{D\rho} [\kappa G\rho - (1 - \beta\kappa\gamma\delta n) e_i \sin \varphi - \beta\kappa\delta n e_i \cos \varphi], \\ \frac{dn}{d\tau} &= \frac{\delta n}{\tau_1} - \frac{\rho}{D} [\kappa\rho + (1 - \beta\kappa\gamma\delta n) e_i \cos \varphi - \beta\kappa\delta n e_i \sin \varphi], \\ D &= 1 - \beta\kappa\delta n(\gamma + G), \quad G = \gamma - \beta\kappa(1 + \gamma^2)\delta n, \quad \delta n = 1 - n. \end{aligned} \quad (1)$$

В уравнениях для вероятностных переменных (1):  $\rho$  – резонансная поляризованность (в комплексном представлении  $\rho = \rho \exp(i\varphi)$ ),  $n$  – разность населённостей,  $\kappa$  – ненасыщенный показатель резонансного поглощения,  $\beta$  – коэффициент резонансной нелинейности рефракции, пропорциональный разности поляризуемостей КТ в возбужденном и основном состояниях,  $\gamma$  – нормирующий коэффициент в локальной поправке Лоренца. Время и параметр продольной скорости  $\tau_1$  нормированы по величине  $\tau_2$  – времени фазовой релаксации активных центров. Второе уравнение в описывает изменение фазы поляризации и нарядус линейной отстройкой от резонанса включает нелинейный компонент, обусловленный сдвигом частоты резонанса, который зависит от соотношения КТ, находящихся на основном и возбуждённом уровнях.

Важным фактором, определяющим особенность реакции СК на излучение, является наличие дополнительных к нерезонансному отражению  $r$  нелинейных составляющих в условии связи напряженностей световых полей, обычно применимого в приближении сверхтонкого слоя. Нормированное отраженное поле  $e = \mu E \tau_2 / \hbar$  связано с напряженностью падающего извне поля  $e_i = \mu E_i(\tau) \tau_2 / \hbar$  следующим выражением:

$$e = -re_i + \kappa \left\{ \rho \cos \varphi - \frac{\beta \kappa}{D} \delta n [\beta \delta n e_i - \rho (G \cos \varphi + \sin \varphi)] \right\}, \quad (2)$$

Нелинейные составляющие отражения в соотношении (2) описывают послесвечение поверхности СК в течение времени фазовой памяти, то есть интервала времени в течение которого дипольный ансамбль сохраняет преимущественную ориентацию в направлении инициирующего поля. Первый из компонентов, обычно называемый сверхизлучательным, пропорционален резонансной поляризованности, вторым (зависимым от резонансной вариации населённости  $\delta n$  с коэффициентом  $\beta$ ) характеризуется динамический вклад поглощения в квазирезонансных переходах. Динамика фазовой памяти ансамбля дипольных частиц с учётом влияния ближних полей тогда определена энергетическим состоянием среды и может стимулировать квазипериодические или осцилляторные процессы в отражённом излучении.

Моделирование динамики реакции квазидвумерного СК на стационарное инициирующее поле  $e_i(\tau) = e_0$  производилось в рамках численного решения системы (1), (2). Рассчитывалась временная зависимость безразмерной плотности поля отражённого излучения  $U = e^2(\tau)$ . Фрагменты приведенного рисунка на наносекундной шкале изображают характерные зависимости  $U(t)$  для нарастающего ряда значений  $e_0$ .

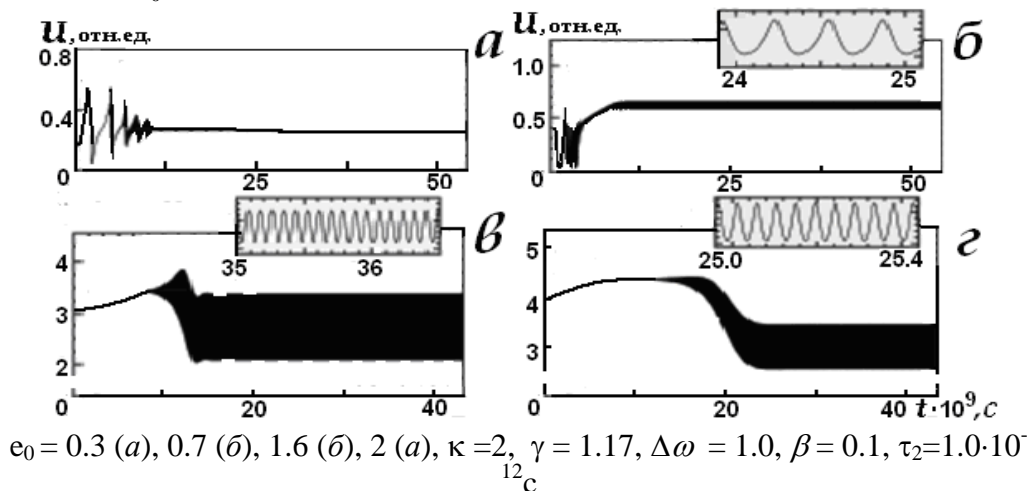


Рисунок 1 – Зависимости нормированной плотности отраженного излучения от времени (на фрагментах б-в – в большем разрешении)

При относительно небольшом уровне возбуждения (рис., а) сценарий развёртки представляет ряд коротких релаксирующих всплесков мощности в качестве переходного режима и, затем относительно быстрый переход к стационарному уровню излучения. На «нестабильных» развёртках при повышении мощности инициирующего поля (рис., б – г) определяется картина «выхода» первоначально постоянного излучения в регулярный режим с высокочастотными колебаниями отражаемого СК светового поля. Развитие самоподдерживающихся осцилляций объясняется колебаниями фазовой отстройки поляризованности и поля, вызванных нелинейным смещением резонанса, которым обусловлен гистерезисный характер отклика СК и связанная с ним внутренняя неустойчивость динамической системы СК.

#### Список использованных источников

1 Nonlinear optical dynamics of a 2D semiconductor quantum dot supercrystal: Emerging multistability, self-oscillations and chaos / V.A. Malyshev [et al.] // J. of Phys.: Conf. Series. – 2019. – Vol. 1220 (012006).

2 Timoshchenko, E.V. Modeling of nutation oscillations in light radiation reflected by thin resonant layer / E.V. Timoshchenko, Yu.V. Yurevich // Вестник МДУ имени А.А. Куляшова. Серия В. – 2020. – №1 (55) – С.73-79.